

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСМОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ПЛАВЛЕНИЯ ОТ ПОРИСТОСТИ

*Д. ХРАПОВ¹, А.В. КОПТЮГ², Т. МИШУРОВА³, С. ЕВСЕВЛЕЕВ³, ДЖ. БРУНО³, М. А. СУРМЕНЕВА¹,
Р. А. СУРМЕНЕВ*

¹Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет

²Mid Sweden University

³Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung

E-mail: dah8@tpu.ru

Решетчатые конструкции представляют собой класс метаматериалов, которые обладают многими преимуществами, такими как возможность производства легких деталей с индивидуальными механическими и другими свойствами. Такие метаматериалы имеют много потенциальных применений в медицинской области. Оптимизация пористых структур, используемых для биомедицинского применения направлена на увеличение усталостной долговечности, улучшение массообменных и геометрических свойств, уменьшение вероятности возникновения инфекций и резорбции костной ткани [1]. Резорбция костной ткани может быть вызвана различием модулей Юнга кости и металлического имплантата, и может быть предотвращена путем оптимизации модуля Юнга имплантата за счёт изменения его структуры (пористости) [2]. Расчетная пористость в системах с правильной периодичной геометрией в основном зависит от типа элементарной ячейки, которая может использоваться для проектирования пористого материала. При двух основных подходах к формированию элементарной ячейки, удовлетворяющих требованию, используются либо стержневые, либо листовые элементы. Последние представляют собой трижды периодические поверхности с минимальной энергией (ТППМЭ), которые в силу сложности геометрии таких структур возможно изготовить только аддитивными методами [3].

Решетчатые конструкции на основе стержневых элементов могут испытывать серьезные концентрации напряжений под нагрузкой, особенно в местах сочленения стержней или изгиба под острыми углами [4]. Сильная перегрузка и увеличение усталостного разрушения в зонах концентрации напряжений могут привести к полному разрушению соответствующих элементов конструкции. Структуры ТППМЭ состоят из полукруглых элементов и характеризуются нулевой средней кривизной в каждой точке. Это свойство признано большим преимуществом, улучшающим несущую способность конструкции и одновременно способствующим прорастанию костных клеток [5].

Для исследования механических свойств был выбран один из видов ТППМЭ - гироид (Gyroid, Schwartz-G), описываемый уравнением:

$$\sin(kx)\cos(ky) + \sin(ky)\cos(kz) + \sin(kz)\cos(kx) = 0$$

Предварительно были изготовлены модели с разной пористостью, которая варьировалась за счёт изменения толщины стенок гироида. Образцы были получены методом электронно-лучевого плавления.

В результате механических испытаний были установлены механические свойства такие как квази-эластический градиент (аналог модуля Юнга для высокопористых материалов), предел текучести, предел прочности, поглощенная энергия, удельная поглощенная энергия и эффективность поглощения энергии. Квази-эластичный градиент (модуль Юнга) для образцов с разной пористостью варьируется от 1,5 ГПа до 7 ГПа, от что удовлетворяет требованиям для кортикальной кости [6]. Относительный модуль Юнга и относительный предел текучести имеют степенную зависимость от относительной плотности. Установлено, что при увеличении пористости возрастает эффективность поглощения энергии. Исследован механизм деформации гироида в процессе сжатия.

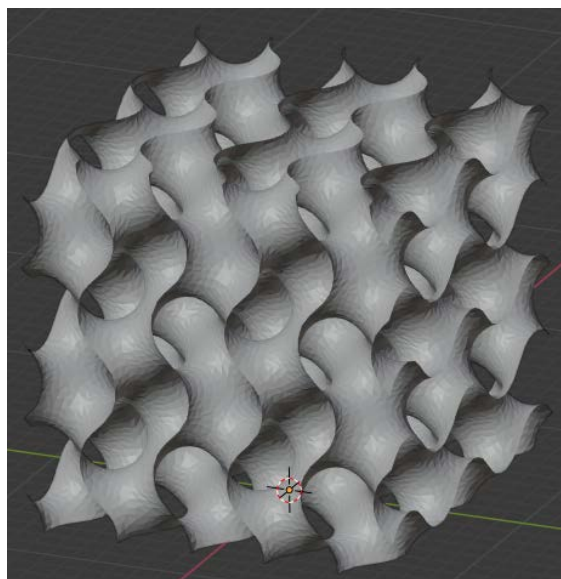


Рисунок 1 – Внешний вид гироида

Исследование выполнено при поддержке Российско-Немецкого Междисциплинарного Научного Центра (G-RISC). Решение о финансировании № М-2020а-6.

Список литературы

1. Zadpoor A. A. Additively manufactured porous metallic biomaterials // J Mater Chem B. – 2019. – № 7. – С.4081– 4226.
2. Niinomi M, Nakai M. Titanium-Based Biomaterials for Preventing Stress Shielding between Implant Devices and Bone // Int J Biomater. – 2011. – 201. – С.10.
3. Bobbert FSL, Lietaert K, Eftekhari AA, Pouran B, Ahmadi SM, Weinans H, et al. Additively manufactured metallic porous biomaterials based on minimal surfaces: A unique combination of topological, mechanical, and mass transport properties // Acta Biomater. – 2017. – № 53. – С.572–584.
4. Ahmadi SM, Yavari SA, Wauthle R, Pouran B, Schrooten J, Weinans H, et al. Additively Manufactured Open-Cell Porous Biomaterials Made from Six Different Space-Filling Unit Cells: The Mechanical and Morphological Properties // Materials (Basel). – 2015. – № 8. – С. 1871–1896.
5. Liu F, Zhang DZ, Zhang P, Zhao M, Jafar S. Mechanical Properties of Optimized Diamond Lattice Structure for Bone Scaffolds Fabricated via Selective // Materials (Basel). – 2018. – № 11. – С.17.
6. Reilly DT, Burstein AH. The elastic and ultimate properties of compact bone tissue // Biomechanics. – 1975. – № 3. – С. 393–405.